

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengukuran Laju Pelepasan Kalor Secara Kontinyu Pada Tangki Solar Water Heater Berisi Air dengan Variasi Debit Air 1;1,5;2;2,5 LPM

Judul Naskah Publikasi: Pengukuran Laju Pelepasan Kalor Secara Kontinyu Pada Tangki Solar Water Heater Berisi Air

Nama Mahasiswa: Melati Sukma Dewi

NIM: 20150130100

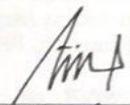
Pembimbing 1: Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T.

Pembimbing 2: Teddy Nurcahyadi, S.T., M.Eng.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

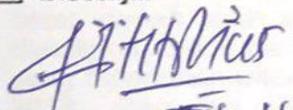
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia	<input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*beri tanda \checkmark di kotak yang sesuai

Tanda Tangan  Tanggal 01-08-2019
Nama Mahasiswa Melati Sukma Dewi Tanggal

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan  Tanggal 1-8-2019
Dosen Pembimbing Tito Hadji Agung Santoso Tanggal

Tanda Tangan  Tanggal 03 Agustus 2019
Ketua/Sekretaris Program Studi



Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

PENGUKURAN LAJU PELEPASAN KALOR SECARA KONTINYU PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER BERISI AIR

Melati Sukma Dewi^a, Tito Hadji Agung Santoso^b, Teddy Nurcahyadi^c

Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, D.I Yogyakarta, Indonesia, 55183

^asukmadewimelati@gmail.com

INTISARI

Solar Water Heater (SWH) merupakan pemanas air tenaga surya dengan energi surya sebagai sumber energi. Penggunaan air memiliki kelebihan yaitu konduktivitas termal tinggi, murah, dan mudah ditemukan, serta kekurangannya yaitu memberikan beban berat berlebih pada tangki. *Paraffin* berpotensi sebagai media penyimpanan panas yang ringan, tetapi konduktivitas termal rendah. Serbuk tembaga memiliki konduktivitas termal tinggi. Campuran *paraffin* dan serbuk tembaga digunakan untuk melengkapi kekurangan air, tetapi memerlukan kasus dasar sebagai rujukan peningkatan pelepasan kalor. Tujuan penelitian untuk mengetahui evolusi suhu air, waktu proses *discharging* kontinyu, laju pelepasan kalor air, dan laju penurunan suhu air.

Discharging kontinyu dilakukan dengan mengalirkan air ke tangki secara kontinyu dengan variasi debit air 1; 1,5; 2; 2,5 LPM hingga suhu bak air mencapai 35°C. Data yang direkam berupa data suhu tiap titik termokopel. Data terekam akan diolah menjadi grafik evolusi suhu, grafik *discharging* kontinyu, grafik laju pelepasan kalor air, dan grafik laju penurunan suhu air.

Dari hasil penelitian didapatkan evolusi suhu air mengalami penurunan suhu cepat karena hambatan dan *heat loss*. Penurunan suhu tercepat baris vertikal penampang A-A dan C-C pada T13 dan T4, baris horizontal penampang A-A dan C-C pada T23 dan T12, dan baris aksial pada T15. Variasi debit air besar mempercepat transfer kalor sehingga mengakibatkan *discharging* kontinyu mencapai penurunan suhu drastis, laju pelepasan kalor air, dan laju penurunan suhu air. Waktu tercepat penurunan suhu drastis *discharging* kontinyu 21 menit, nilai terbesar laju pelepasan kalor 2.175,36 J/s dan nilai terbesar laju penurunan suhu air 31,18 °C/jam.

Kata kunci : Air, SWH, SHS, *discharging* kontinyu

1. Pendahuluan

Kebutuhan air panas dalam kehidupan sehari-hari semakin meningkat terutama di hotel, rumah sakit dan setiap rumah (Slanturi dan Himsar, 2012). Air panas tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti mencuci piring dan mandi. Air yang diperlukan untuk satu orang mandi berkisar antara 10-20 liter (Muhammad, skripsi, 2018). Saat ini, masyarakat sangat bergantung pada alat yang praktis dan dapat digunakan setiap saat untuk menghasilkan suatu kebutuhan yang diperlukan, termasuk kebutuhan akan air panas yang diharapkan dapat dihasilkan dalam waktu 1 menit untuk 1 liter air panas. Seiring dengan meningkatnya keinginan masyarakat tersebut, maka diperlukan pengembangan teknologi yang mampu mengatasi kebutuhan tersebut, salah satunya adalah *Solar Water Heater* (SWH).

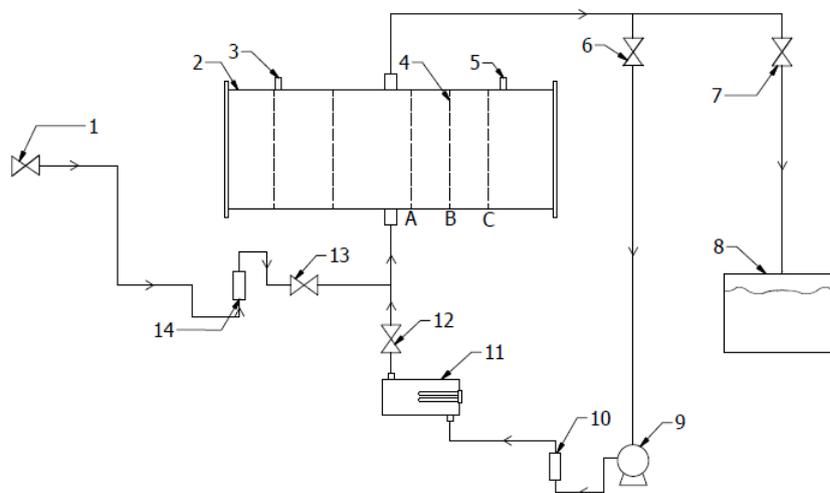
SWH adalah pemanas air menggunakan kolektor plat dengan pipa-pipa sebagai tempat mengalirkan fluida yang akan dipanaskan (Sudrajat dan Irfan, 2014). SWH menggunakan energi surya sebagai sumber energi untuk memanaskan air. SWH memiliki tangki yang berfungsi untuk menyimpan energi termal dari sumber energi. Energi termal tersebut disimpan di air. Air merupakan penyimpanan energi termal sensibel. Indonesia memiliki persediaan air mencapai 15.000 meter³ per kapita per tahun

(Dharma, 2017). Keuntungan menggunakan air sebagai penyimpan energi termal adalah mudah ditemukan, murah, serta memiliki konduktivitas termal tinggi. Penggunaan air pada SWH memiliki beberapa kekurangan diantaranya air memberikan beban berlebih pada konstruksi tangki sehingga, jika SWH diletakkan di atap rumah akan membuat struktur atap tidak mampu menahan beban dari konstruksi tangki tersebut. Dari kekurangan tersebut disarankan mengganti media penyimpanan panas dengan sifat bahan yang mudah meleleh, mampu menyimpan panas lebih baik dari air, dan ringan. Salah satu bahan yang memiliki kriteria tersebut adalah *paraffin*.

Penggunaan *paraffin* akan mengurangi beban konstruksi tangki. Tetapi, *paraffin* memiliki kekurangan yaitu nilai konduktivitas termalnya rendah, sehingga dalam kondisi *charging* dan *discharging* SWH memerlukan waktu yang lama. Dengan demikian, untuk menanggulangi kekurangan dari *paraffin* dibutuhkan bahan yang memiliki nilai konduktivitas termal tinggi, yaitu serbuk tembaga. Serbuk tembaga memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi, yaitu pada suhu 300 K mencapai 401 W/m.K (Cengel, 2003) sehingga kekurangan dari *paraffin* mampu diatasi dengan penggunaan serbuk tembaga. Dengan demikian campuran *paraffin* dan serbuk tembaga digunakan sebagai media penyimpan panas dalam SWH untuk mengatasi kekurangan dari air. Akan tetapi, penggunaan campuran serbuk tembaga dan *paraffin* sebagai media penyimpan panas memerlukan kasus dasar sebagai rujukan untuk mengetahui peningkatan pelepasan kalornya. Sehingga penelitian ini akan melakukan pengujian tentang pengukuran laju pelepasan kalor secara kontinu pada tangki SWH berisi air dengan variasi debit air 1, 1.5, 2, dan 2.5 LPM.

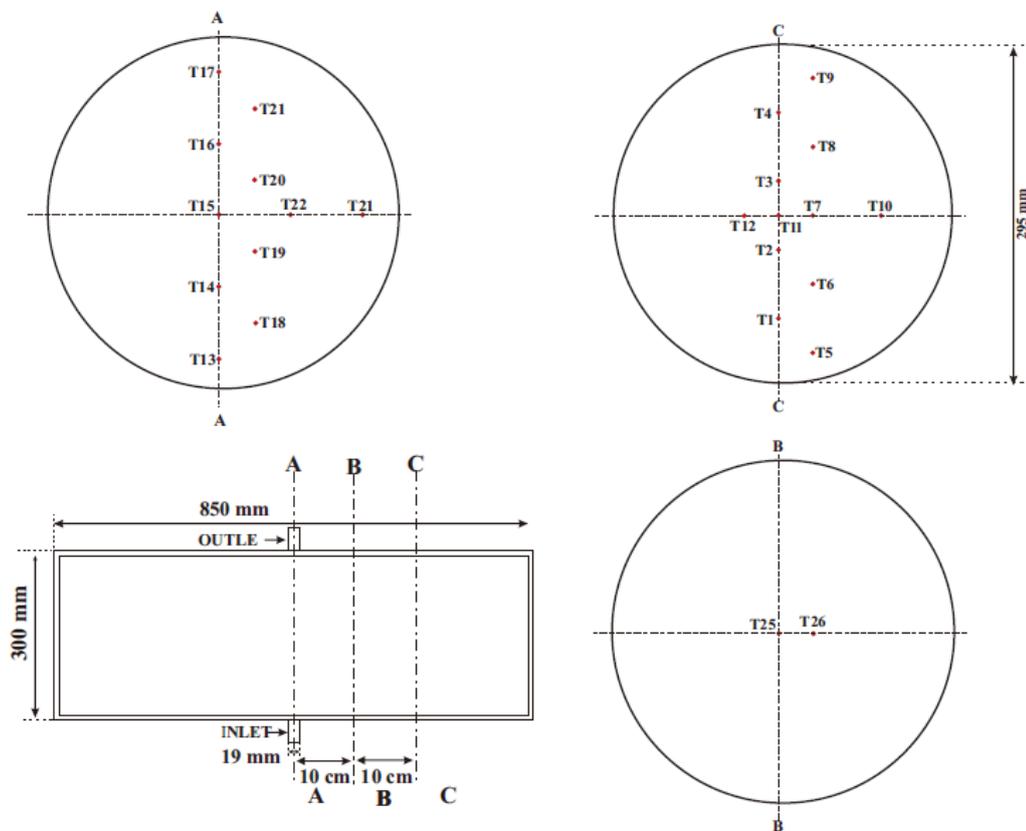
2. Metode Penelitian

Penelitian pada tangki SWH sistem aktif kapasitas 60 liter menggunakan air sebagai SHS. Skema alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema SWH : (1) Katup *Supply* Air, (2) Tangki SWH, (3) Termokopel Masuk Sisi Kiri, (4) Strimin, (5) Termokopel Masuk Sisi Kanan, (6) Katup *Charging* Keluar Tangki, (7) Katup *Discharging* Keluar Tangki, (8) Bak Air, (9) Pompa, (10) Rotameter Air *Charging*, (11) *Heater*, (12) Katup *Charging* Masuk Tangki, (13) Katup *Discharging* Masuk Tangki, (14) Rotameter Air *Discharging*

Pada tangki SWH terdapat lima strimin dengan dua strimin sisi kiri tangki tidak terdapat termokopel dan tiga strimin sisi kanan tangki terdapat termokopel. Posisi pemasangan termokopel pada strimin seperti pada Gambar 2.



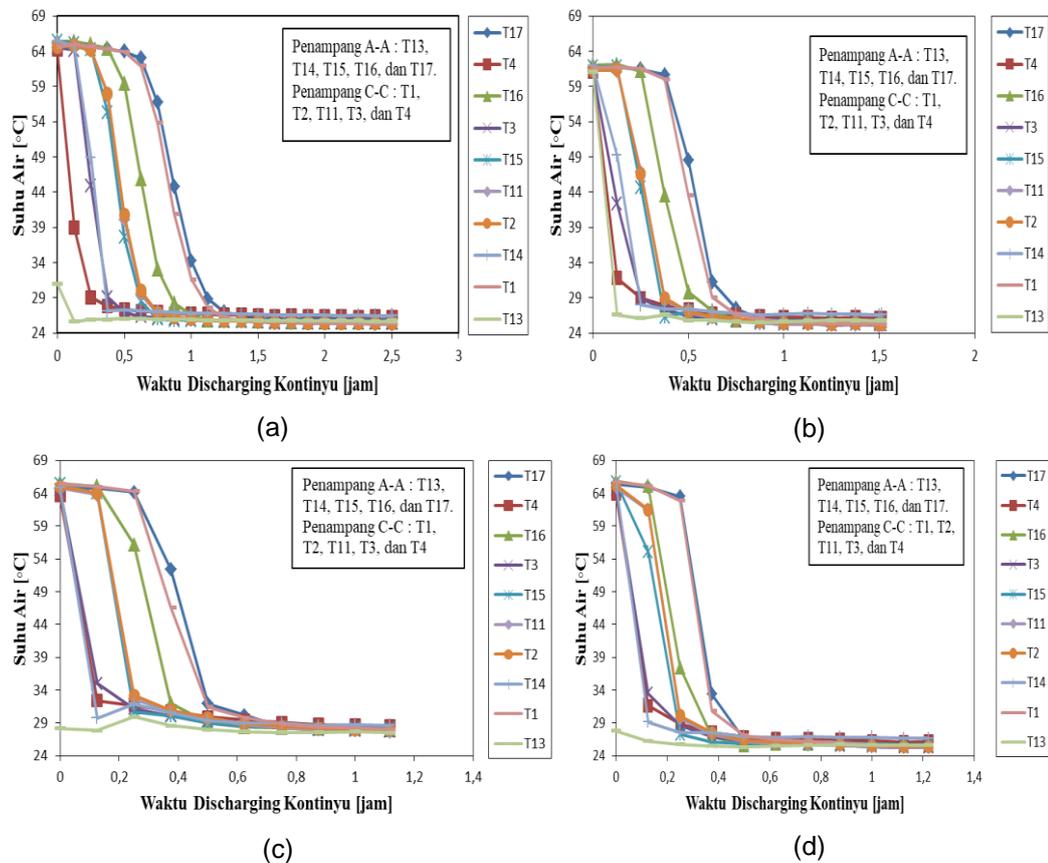
Gambar 2 Penempatan Termokopel Pada Strimin

Penelitian diawali dengan proses persiapan berupa penyerapan energi termal yang dilakukan pada proses *charging* hingga suhu air keluar tangki mencapai 70°C. Proses *charging* tidak termasuk dalam penelitian ini. Setelah suhu air keluar tangki mencapai 70°C, dilakukan proses *discharging* dengan cara membuka katup *discharging*, kemudian memasang selang ke katup *supply* air, lalu mengalirkan air secara kontinyu sesuai dengan variasi debit air. Pengambilan data berupa suhu dilakukan saat variasi debit air sudah diatur hingga suhu pada T28 di bak air mencapai 35°C. Variasi debit air yang digunakan 1;1,5;2; dan 2,5 LPM. Setelah suhu mencapai 35°C, maka didapatkan data suhu dan waktu selama pengambilan data. Data suhu tersebut kemudian diperhatikan dengan seksama apakah terdapat suhu yang mengalami kenaikan selama pengambilan data. Jika terdapat kenaikan suhu, maka ulangi kembali proses pengambilan data dan jika tidak terdapat kenaikan suhu, lakukan proses olah data dengan cara membuat plot grafik evolusi suhu air, grafik *discharging* kontinyu, grafik laju pelepasan kalor air, dan grafik laju penurunan suhu air terhadap waktu selama proses *discharging* kontinyu.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Vertikal dan Penampang C-C Baris Vertikal

Evolusi suhu air selama proses *discharging* kontinyu pada penampang A-A dan penampang C-C baris vertikal dapat dilihat pada Gambar 3.

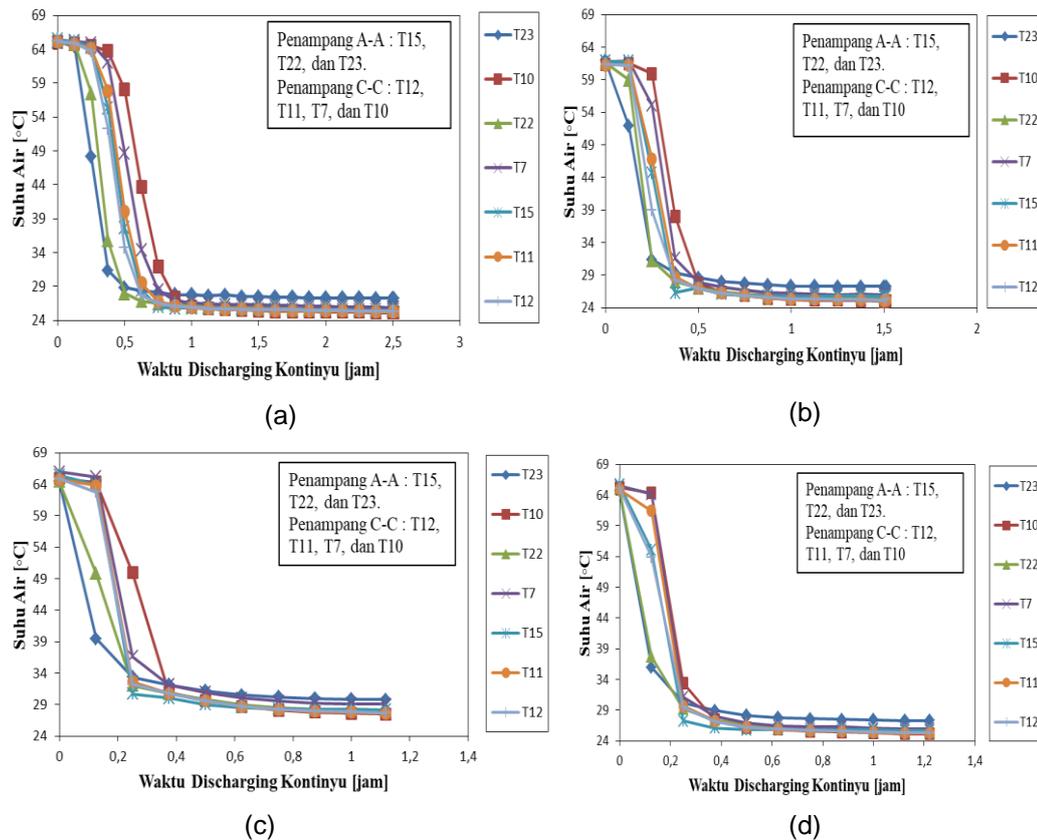


Gambar 3 Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Vertikal dan Penampang C-C Baris Vertikal (a) 1 LPM, (b) 1,5 LPM, (c) 2 LPM, (d) 2,5 LPM

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa selama air dialirkan terjadi penurunan suhu pada masing-masing titik termokopel tiap variasi debit air. Penurunan suhu air yang berlangsung cepat ke penurunan suhu yang berlangsung lambat untuk semua variasi debit air adalah T13, T4, T3, T14, T15, T11, T2, T16, T1, dan T17. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh hambatan yang dilalui air didalam tangki. Aliran air akan mengalir ketempat yang hambatannya kecil lalu mengalir secara perlahan ke tempat yang hambatannya besar. Ketika air masuk ke dalam tangki, air akan bersentuhan dengan T13 terlebih dahulu karena posisi T13 dekat dengan posisi air masuk sehingga suhu T13 akan lebih cepat turun. T17 mengalami penurunan suhu paling lama dari termokopel lain karena T17 berada pada posisi terjauh dari posisi air masuk dan air yang mengalir ke sekitar T17 cenderung telah menerima kalor dari termokopel yang lain, sehingga transfer kalor yang terjadi pada T17 relatif lama.

3.2 Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Horizontal dan Penampang C-C Baris Horizontal

Evolusi suhu air selama proses *discharging* kontinyu pada penampang A-A dan penampang C-C baris horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.

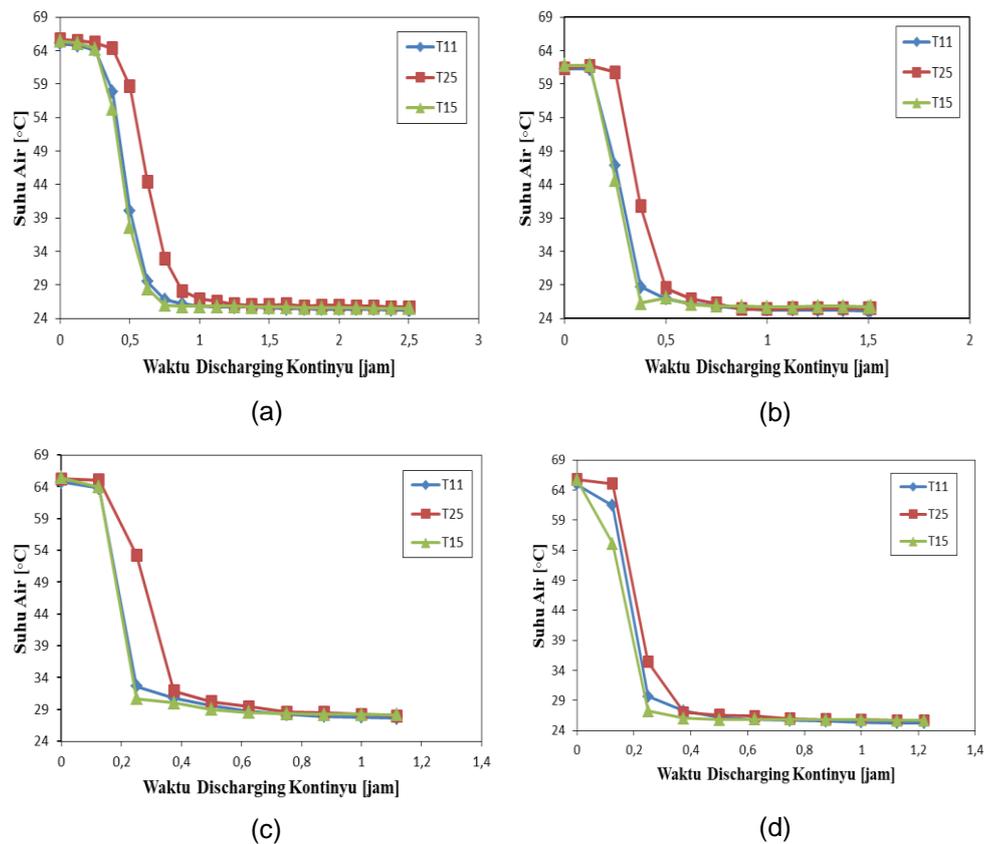


Gambar 4 Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Horizontal dan Penampang C-C Baris Horizontal (a) 1 LPM, (b) 1,5 LPM, (c) 2 LPM, (d) 2,5 LPM

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa selama air dialirkan terjadi penurunan suhu pada masing-masing titik termokopel tiap variasi debit air. Penurunan suhu air yang berlangsung cepat ke penurunan suhu yang berlangsung lambat untuk semua variasi debit air adalah T23, T22, T12, T15, T11, T7, dan T10. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh hambatan yang dilalui air didalam tangki. Pada posisi horizontal air akan memulai proses transfer kalor pada posisi termokopel yang memiliki hambatan kecil. Pada hasil penelitian terdapat T23 lebih cepat turun suhunya, hal ini terjadi karena T23 mentransfer kalor ke tangki dan saat aliran air berada disekitar T23, air akan memulai transfer kalor dengan kalor yang sedikit akibat *heat loss* sehingga proses transfer kalor pada T23 lebih cepat. Aliran air menuju T10 berlangsung lama, hal ini terjadi karena T10 berdekatan dengan penampang B-B dimana penampang tersebut terdapat termokopel sehingga adanya hambatan besar yang menyebabkan aliran air lama mencapai T10 dan proses transfer kalor berlangsung lama.

3.3 Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-B-C Baris Aksial

Evolusi suhu air selama proses *discharging* kontinyu pada penampang A-B-C baris aksial dapat dilihat pada Gambar 5.

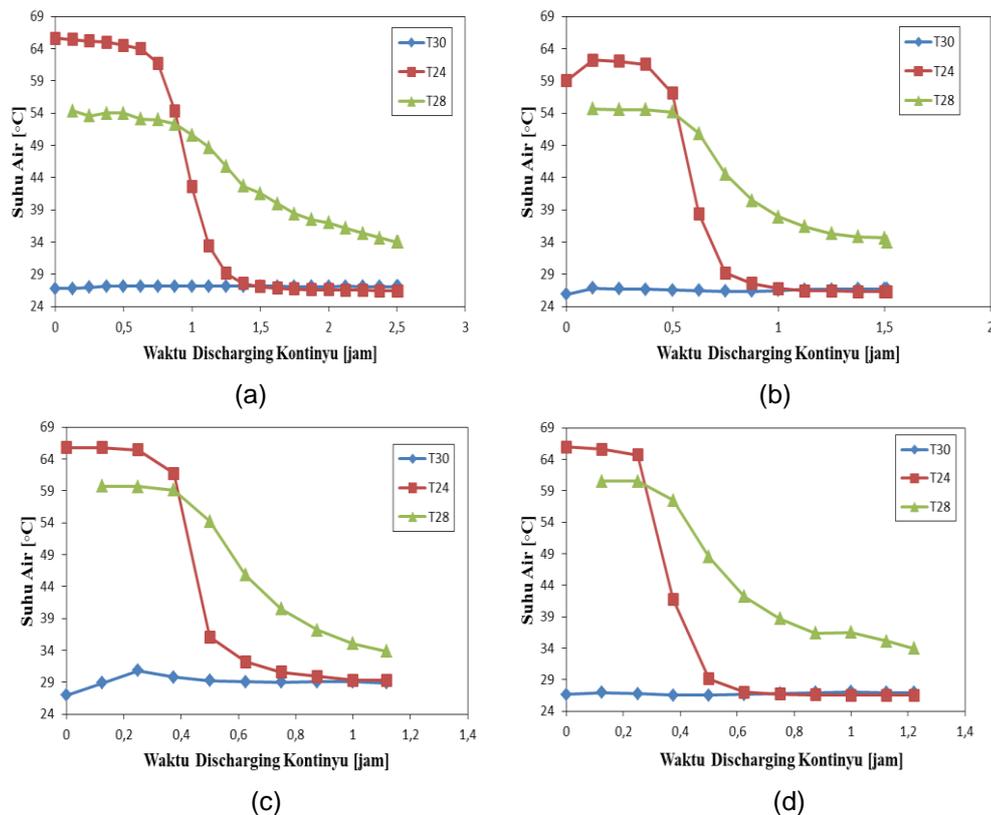


Gambar 5 Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-B-C Baris Aksial (a) 1 LPM, (b) 1,5 LPM, (c) 2 LPM, (d) 2,5 LPM

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa selama air dialirkan terjadi penurunan suhu pada masing-masing titik termokopel tiap variasi debit air. Penurunan suhu air yang berlangsung cepat ke penurunan suhu yang berlangsung lambat untuk semua variasi debit air adalah T15, T11, dan T25. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh hambatan yang dilalui air didalam tangki dan *heat loss*. Aliran air yang terjadi pada arah aksial mengalir dari daerah yang memiliki hambatan kecil ke daerah yang memiliki hambatan besar. Transfer kalor yang terjadi pada T15 lebih cepat karena posisi T15 dekat dengan air masuk ke dalam tangki yang menyebabkan proses transfer kalor lebih dahulu terjadi disekitar T15. Kemudian T11 mengalami penurunan suhu yang cepat setelah T15, hal ini terjadi karena T11 dekat dengan dinding tangki sehingga air disekitar T11 mentransfer kalor ke tangki dan saat aliran air berada disekitar T11 maka proses transfer kalor akan berlangsung lebih cepat karena *heat loss* yang terjadi mengakibatkan jumlah kalor yang dimiliki air berkurang. T25 mengalami transfer kalor yang paling lama karena posisi T25 yang berada didekat penampang A-A yang memiliki banyak termokopel mengakibatkan hambatan disekitar T25 besar dan aliran air menuju ke sekitar T25 berlangsung lambat sehingga proses transfer kalor lambat.

3.4 Evolusi Suhu Air *Discharging* Kontinyu

Evolusi suhu air selama proses *discharging* kontinyu dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Evolusi Suhu Air Terhadap Proses *Discharging* Kontinyu (a) 1 LPM, (b) 1,5 LPM, (c) 2 LPM, (d) 2,5 LPM

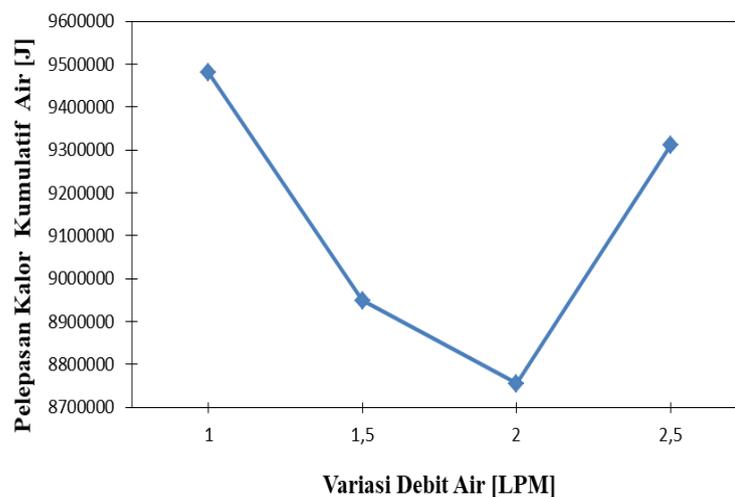
Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa penurunan suhu yang signifikan tiap variasi debit memiliki waktu yang berbeda. Dimana penurunan suhu signifikan tercepat umumnya terjadi pada aliran debit yang besar. Hasil pengujian variasi debit 1 LPM membutuhkan waktu $\pm 0,8$ jam atau ± 48 menit untuk menurunkan suhu secara signifikan karena dengan aliran debit yang rendah proses transfer kalor cenderung lama hal ini disebabkan oleh aliran debit memerlukan waktu yang lama untuk memenuhi tangki berukuran 60 liter. Variasi debit 1,5 LPM membutuhkan waktu 0,5 jam atau 30 menit untuk menurunkan suhu secara signifikan, hal ini menandakan bahwa proses transfer kalor yang terjadi bertambah cepat karena waktu yang diperlukan untuk memenuhi tangki mulai bertambah cepat. Variasi debit 2 LPM membutuhkan waktu $\pm 0,36$ jam atau ± 27 menit untuk menurunkan suhu secara signifikan, hal ini juga menunjukkan bahwa proses transfer kalor yang terjadi lebih cepat karena waktu yang diperlukan untuk memenuhi tangki cepat. Variasi 2,5 LPM membutuhkan waktu $\pm 0,28$ jam atau ± 21 menit untuk menurunkan suhu secara signifikan, hal ini membuktikan bahwa proses transfer kalor menjadi sangat cepat karena waktu untuk mengisi tangki relatif cepat.

3.5 Pelepasan Kalor Kumulatif Air

Nilai pelepasan kalor kumulatif air dapat dilihat pada Tabel 1 dan grafik pelepasan kalor kumulatif air dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 1 Nilai Pelepasan Kalor Kumulatif Air

\dot{V} (LPM)	$Q_{\text{kum, air}}$ (J)	\bar{T}_i (°C)	\bar{T}_f (°C)	$\bar{\Delta T}$ (°C)	Δt (s)
1	9.480.425,39	63,59539	25,84684	37,74855	9025
1,5	8.948.498,83	61,48827	25,85771	35,63056	5445
2	8.755.842,78	63,11388	28,25043	34,86345	4025
2,5	9.310.876,10	62,96481	25,89137	37,07344	4395



Gambar 7 Pelepasan Kalor Kumulatif Air

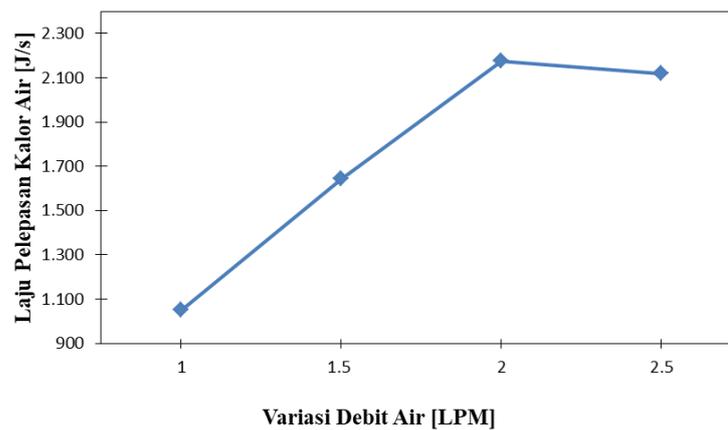
Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pelepasan kalor kumulatif air setiap variasi debit air berbeda-beda. Pelepasan kalor kumulatif air dengan nilai terbesar hingga terkecil adalah 1 LPM, 2,5 LPM, 1,5 LPM, dan 2 LPM. Pelepasan kalor kumulatif air dipengaruhi oleh beda temperatur rata-rata tangki dimana pelepasan kalor kumulatif air berbanding lurus dengan beda temperatur rata-rata tangki. Semakin besar beda temperatur rata-rata tangki maka akan semakin besar nilai pelepasan kalor kumulatif air karena kalor berpindah dari suhu tinggi ke suhu rendah. Sedangkan semakin kecil beda temperatur rata-rata tangki maka semakin kecil nilai pelepasan kalor kumulatif airnya. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai pelepasan kalor kumulatif air pada variasi 2,5 LPM lebih besar dari variasi debit 2 LPM. Hal tersebut disebabkan oleh adanya pengaruh gelembung udara yang mengalir pada rotameter. Pada saat memulai pengujian variasi 2,5 LPM, terdapat masalah dimana ketika katup *supply* air dibuka terdapat gelembung udara sehingga pada pembacaan rotameter terdapat banyak gelembung udara yang kemudian masuk ke dalam tangki. Ketika didalam tangki gelembung udara tersebut ikut terbawa aliran air. Hal tersebut menjadikan air cenderung terhambat untuk melakukan proses tranfer kalor, karena nilai kalor jenis udara lebih kecil dari kalor jenis air. Sehingga air memerlukan waktu yang lama untuk melakukan proses transfer kalor didalam tangki. Lamanya waktu yang dibutuhkan air untuk transfer kalor menyebabkan suhu akhir rata-rata tangki lebih rendah. Suhu akhir rata-rata tangki mempengaruhi beda temperatur, karena semakin kecil suhu akhir rata-rata tangki maka beda temperatur akan semakin besar sehingga hal tersebut menyebabkan nilai pelepasan kalor kumulatif air variasi debit 2,5 LPM lebih besar daripada variasi debit 2 LPM.

3.6 Laju Pelepasan Kalor Air

Nilai laju pelepasan kalor air dapat dilihat pada Tabel 2 dan grafik laju pelepasan kalor air dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 2 Nilai Laju Pelepasan Kalor Air

Laju Pelepasan						
\dot{V} (LPM)	Kalor Air (\dot{Q})	$Q_{kum, air}$ (J)	\bar{T}_1 (°C)	\bar{T}_f (°C)	$\bar{\Delta T}$ (°C)	Δt (s)
1	1.050,46	9.480.425,39	63,59539	25,84684	37,74855	9025
1,5	1.643,43	8.948.498,83	61,48827	25,85771	35,63056	5445
2	2.175,36	8.755.842,78	63,11388	28,25043	34,86345	4025
2,5	2.118,52	9.310.876,10	62,96481	25,89137	37,07344	4395



Gambar 8 Laju Pelepasan Kalor Air

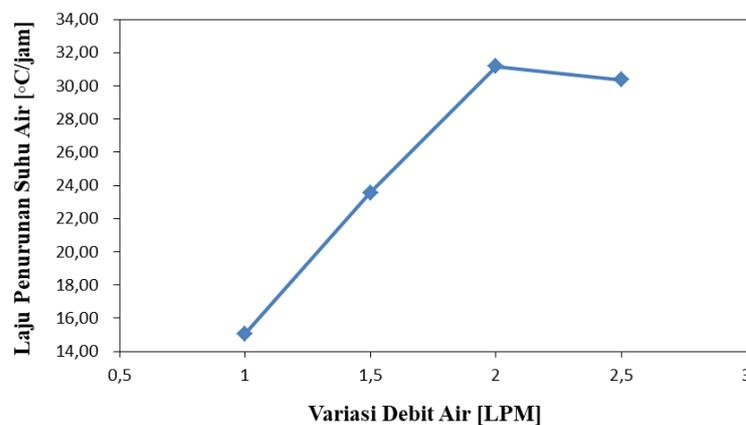
Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa laju pelepasan kalor air pada debit air rendah lebih kecil daripada laju pelepasan kalor air pada debit air tinggi. Hal ini disebabkan oleh waktu dan nilai pelepasan kalor kumulatif air. Laju pelepasan kalor air berbanding terbalik terhadap waktu dan berbanding lurus terhadap nilai pelepasan kalor kumulatif air sehingga semakin kecil nilai pelepasan kalor kumulatif air yang diperlukan dan semakin besar waktu yang diperlukan untuk transfer kalor maka laju pelepasan kalor air akan semakin kecil. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai laju pelepasan kalor air pada debit 2,5 LPM lebih kecil daripada debit 2 LPM. Hal ini disebabkan oleh waktu yang diperlukan untuk transfer kalor pada variasi debit air 2,5 LPM lebih lama daripada transfer kalor pada variasi debit 2 LPM. Lamanya waktu untuk proses transfer kalor pada debit air 2,5 LPM disebabkan oleh gelembung udara. Gelembung udara menghambat proses transfer kalor karena nilai kalor jenisnya lebih kecil dari nilai kalor jenis air.

3.7 Laju Penurunan Suhu Air

Nilai laju penurunan suhu air dapat dilihat pada Tabel 3 dan grafik laju penurunan suhu air dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 3 Nilai Laju Penurunan Suhu Air

Laju Penurunan					
\dot{V} (LPM)	Suhu Air (°C/jam)	\bar{T}_i (°C)	\bar{T}_f (°C)	$\bar{\Delta T}$ (°C)	Δt (s)
1	15,06	63,59539	25,84684	37,74855	9025
1,5	23,56	61,48827	25,85771	35,63056	5445
2	31,18	63,11388	28,25043	34,86345	4025
2,5	30,37	62,96481	25,89137	37,07344	4395



Gambar 9 Laju Penurunan Suhu Air

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa laju penurunan suhu untuk debit air rendah lebih kecil daripada laju penurunan suhu dengan debit air tinggi. Hal ini disebabkan oleh beda temperatur dan waktu. Laju penurunan suhu air berbanding lurus dengan beda temperatur dan berbanding terbalik dengan waktu. Debit air rendah memerlukan waktu yang lama untuk proses transfer kalor sehingga membuat beda temperatur air semakin besar. Selain itu, untuk debit air tinggi memerlukan waktu yang relatif singkat untuk proses transfer kalor sehingga beda temperatur yang dihasilkan relatif kecil. Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai laju penurunan suhu untuk debit air 2,5 LPM lebih kecil daripada debit 2 LPM. Hal ini dapat terjadi karena debit air 2,5 LPM memerlukan waktu yang lama untuk proses transfer kalor pada tangki karena adanya gelembung udara pada tangki. Akibat dari lamanya proses transfer kalor di tangki menyebabkan suhu akhir rata-rata pada tangki rendah. Hal tersebut mempengaruhi beda temperatur pada tangki. Beda temperatur yang besar dan waktu untuk transfer kalor lama mengakibatkan laju penurunan suhu 2,5 LPM lebih kecil daripada laju penurunan suhu 2 LPM.

4. Kesimpulan

Pengukuran laju pelepasan kalor secara kontinyu pada tangki SWH berisi air dengan variasi debit air 1; 1,5; 2, dan 2,5 LPM telah dilakukan. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Evolusi suhu yang terjadi pada penampang A-A baris vertikal, penurunan suhu relatif cepat terjadi pada T13. Pada penampang C-C baris vertikal, penurunan suhu relatif cepat terjadi pada T4. Pada penampang A-A baris horizontal, penurunan suhu relatif cepat terjadi pada T23. Pada penampang C-C baris horizontal, penurunan suhu relatif cepat terjadi pada T12. Pada penampang A-B-C baris aksial, penurunan suhu relatif cepat terjadi pada T15.
2. Waktu yang diperlukan untuk proses *discharging* kontinyu mencapai penurunan suhu signifikan berlangsung cepat pada debit air 2,5 LPM $\pm 0,28$ jam atau ± 21 menit.
3. Nilai laju pelepasan kalor terbesar terjadi pada debit air 2 LPM sebesar 2.175,36 J/s.
4. Nilai laju penurunan suhu air terbesar terjadi pada debit air 2 LPM sebesar 31,18 °C/jam.

Daftar Pustaka

Jurnal :

- [1] Fachrizal, N., & Rivai Mustafa. (2005). Pengujian Kapasitas Tangki Penyimpanan Kalor dan Efisiensi Kolektor Pada Pemanas Air Tenaga Surya. *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi Vol. 1 No. 1*, 34-45.
- [2] Jafar, K. S., & B. Sivaraman. (2017). Performance Characteristics of Parabolic Solar Collector Water Heater System Fitted With Nail Twisted Tapes Absorber. *Journal of Engineering Science and Technology Vol. 12 No. 3*, 608-621.
- [3] Jamar, A., & dkk. (2016). A Review of Water Heating System for Solar Energy Applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer 76*, 178-187.
- [4] Jufrizal, & dkk. (2014). Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar Dengan Penambahan Thermal Energy Storage. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder, Vol. 1 No. 2*, 27-36.
- [5] Kholifudin, M. Y. (2017). Metode Grafik; Solusi Problematika Azaz Black. *JR.KPF UAD Vol. 4 No. 2*, 54-59.
- [6] Mirmanto, & dkk. (2016). Pengaruh Debit Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Dan Penurunan Suhu Ruangan. *Dinamika Teknik Mesin Volume 6 No. 1*.
- [7] Molina, S., & dkk. (2019). Material Screening and Compatibility for Thermocline Storage Systems Using Thermal Oil. *Applied Thermal Engineering 146*, 252-259.
- [8] Nandgaonkar, M. S., & Shrikant P. Yeole. (2017). Performance Analysis of Sensible Heat Storage System. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) Volume 43 Number 5*, 279-283.
- [9] Ocsirendi, & dkk. (2018). Rancang Bangun Solar Water Heater Dengan Kolektor Pelat Datar Berbentuk Spiral Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Manutech Vol. 10 No. 2*, 48-69.
- [10] Ogueke, N. V., & dkk. (2009). A Review of Solar Water Heating Systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy 1*.
- [11] Sarbu, I., & Calin Sebarchievici. (2018). A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage. *Sustainability*.
- [12] Senthusundaram, P. P., & dkk. (2016). Selection of Low Cost Sensible Heat Storage Material for Domestic SWH Storage Tank. *Journal of Advances in Chemistry Volume 12 Number 8*, 4317-4323.
- [13] Sidopekso, S. (2011). Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pemanas Air. *Berkala Fisika Vol. 14 No. 1*, 23-26.

- [14] Slanturi, A. E., & Himsar Ambarita. (2012). Studi Pemanfaatan Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Kotak Sederhana Yang Dilengkapi Thermal Storage Solar Water Heater. *Jurnal Dinamis Volume 1 No. 11*, 27-36.
- [15] Socaciu, L. G. (2011). Seasonal Sensible Thermal Energy Storage Solutions. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 49-68.
- [16] Sudrajat, S. E., & Irfan Santosa. (2014). Perancangan Solar Water Heater Jenis Plat Datar Temperatur Medium Untuk Aplikasi Penghangat Mandi. *Jurnal Teknologi Volume 7 Nomor 2*, 118-127.
- [17] Susana, T. (2003). Air Sebagai Sumber Kehidupan. *Oseana Volume XXVIII Nomor 3*, 17-25.
- [18] Suswanto, dkk. (2015). Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Double Pipa Dengan Sirip Berbentuk Siku Empat. *Vol. 10 No. 1*, 47-53.
- [19] Titahelu, N. (2010). Analisis Pengaruh Kecepatan Fluida Panas Aliran Searah Terhadap Karakteristik Heat Exchanger Shell and Tube. *Jurnal Teknologi Volume 5 Nomor 2*, 819-824.
- [20] Widodo, D. A., dkk. (2010). Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas. *Jurnal Teknik Elektro Vol. 2 No. 2*, 133-137.
- [21] Yuniyanto, B. (2008). Pengujian Perpindahan Panas Konveksi Pada Heat Sink Jenis Extruded. *Rotasi Volume 10 Nomor 1*, 23-28.

Buku :

- [1] Cengel, Y. A. (2003). *Heat Transfer A Practical Approach Second Edition*. Mc Graw Hill, Inc.
- [2] Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- [3] Garg, H. P., & dkk. (2012). *Solar Thermal Energy Storage*. Springer Science & Business Media.

Skripsi:

- [1] Alamsah, W. N. (2016). *Pengembangan Lembar Kerja Siswa (LKS) Berbasis Discovery Learning Untuk Meningkatkan Life Skill Siswa SMA Pada Pokok Bahasan Suhu dan Kalor*. Semarang: Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
- [2] Dharma, A. (2017). *Perkembangan Kebijakan Sumber Daya Air Dan Pengaruhnya Terhadap Pengelolaan Irigasi*. Jakarta: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma.
- [3] Fajarini, S. (2014). *Analisis Kualitas Air Tanah Masyarakat Di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kelurahan Sumur Batu Bantar Gebang, Bekasi Tahun 2003*. Jakarta: Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- [4] Ginting, E. S. (2018). *Study Experimental Optimasi Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Refrigeran R-718 Untuk Memanaskan 120 Liter Air*. Medan: Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [5] Muhammad, I. (2018). *Evaluasi Unjuk Kerja Termal Proses Discharging Pada Pemanas Air Tenaga Surya Thermosyphon Kapasitas 60 Liter Yang Berisi Phase Change Material*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [6] Nurfadhilah, B. (2019). *Performa Pemanas Air Kolektor Tabung Dengan Penambahan Selubung Transparan*. Jember: Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- [7] Rizkianawati, A. (2015). *Implementasi Model Pembelajaran Multidimensional Pada Pembelajaran Fisika Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Siswa*. Semarang: Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

- [8] Rouhillah, K. Y. (2018). *Analisis Performa Kolektor Surya Dengan Parabolic Concentrator Pada Solar Water Heater*. Jember: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.